

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/007563

International filing date: 14 April 2005 (14.04.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-119360  
Filing date: 14 April 2004 (14.04.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 26 May 2005 (26.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2 0 0 4 年 4 月 1 4 日

出 願 番 号  
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 1 1 9 3 6 0

パリ条約による外国への出願  
に用いる優先権の主張の基礎  
となる出願の国コードと出願  
番号  
J P 2 0 0 4 - 1 1 9 3 6 0  
The country code and number  
of your priority application,  
to be used for filing abroad  
under the Paris Convention, is

出 願 人  
Applicant(s): 光洋精工株式会社

2 0 0 5 年 5 月 1 1 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】	特許願
【整理番号】	106776
【提出日】	平成16年 4月14日
【あて先】	特許庁長官殿
【国際特許分類】	C22C 38/00 301 B62D 5/04
【発明者】	
【住所又は居所】	大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号 光洋精工株式会社内
【氏名】	武井 智行
【発明者】	
【住所又は居所】	大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号 光洋精工株式会社内
【氏名】	大塚 真太
【発明者】	
【住所又は居所】	大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号 光洋精工株式会社内
【氏名】	塚本 修
【発明者】	
【住所又は居所】	大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号 光洋精工株式会社内
【氏名】	田岡 信幸
【特許出願人】	
【識別番号】	000001247
【住所又は居所】	大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号
【氏名又は名称】	光洋精工株式会社
【代理人】	
【識別番号】	100087701
【弁理士】	
【氏名又は名称】	稲岡 耕作
【選任した代理人】	
【識別番号】	100101328
【弁理士】	
【氏名又は名称】	川崎 実夫
【手数料の表示】	
【予納台帳番号】	011028
【納付金額】	16,000円
【提出物件の目録】	
【物件名】	特許請求の範囲 1
【物件名】	明細書 1
【物件名】	図面 1
【物件名】	要約書 1
【包括委任状番号】	9811014

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

非調質の鋼を素材として形成されたピニオンシャフトにおいて、  
軸部と、この軸部に連なりピニオン歯および歯底部を含むピニオン歯形成部とを備え、  
ピニオン歯形成部および軸部に高周波焼入れおよび焼戻しが施された硬化層が設けられ

、  
上記鋼が C：0.45～0.55 質量%、Si：0.10～0.50 質量%、Mo：0.15～0.25 質量%、B：0.0005～0.005 質量%を含有し、

ピニオン歯形成部および軸部の表面硬さがビッカース硬さで 650～760HV であることを特徴とするピニオンシャフト。

【請求項 2】

請求項 1 において、上記鋼が、P：0.025 質量%以下、S：0.025 質量%以下、  
Ti：0.005～0.10 質量%、N：0.015 質量%以下をさらに含有し、

かつ下記式 1 および式 2 を満たし、残部が Fe および不可避不純物からなることを特徴とするピニオンシャフト。

$$\text{式 1} \cdots 0.80 \leq C_{eq} \leq 0.95$$

$$\text{ただし、} C_{eq} = C + 0.07 \times Si + 0.16 \times Mn + 0.20 \times Cr + 0.72 \times Mo$$

$$\text{式 2} \cdots f \text{ 値} \leq 1.0$$

$$\text{ただし、} f \text{ 値} = 2.78 - 3.2 \times C + 0.05 \times Si - 0.60 \times Mn \\ - 0.55 \times Cu - 0.80 \times Ni - 0.75 \times Cr$$

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 において、上記歯底部における硬さがビッカース硬さで 450HV 以上となる有効硬化層深さ D と歯底部の半径 R との比 D/R が 0.1～0.5 であることを特徴とするピニオンシャフト。

【請求項 4】

請求項 1，2 又は 3 において、上記軸部における硬さがビッカース硬さで 450HV 以上となる有効硬化層深さ d と軸部の半径 r との比 d/r が 0.05～0.6 であることを特徴とするピニオンシャフト。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ピニオンシャフト

【技術分野】

【０００１】

本発明は例えば自動車の電動パワーステアリング装置に用いるピニオンシャフトに関する。

【背景技術】

【０００２】

電動パワーステアリング装置（ＥＰＳ）は、油圧式パワーステアリング装置と比較して燃費を３～５％向上できることから、省エネ上、好ましい。

特に、ピニオンアシストタイプの電動パワーステアリング装置は、ラックアシストタイプの電動パワーステアリング装置に比較して、車両への搭載スペースを確保し易く、且つ製造コストが安いという利点があり、小型車を中心として普及してきている。

【０００３】

従来の一般的なピニオンシャフトでは、圧延後に焼入れ焼き戻し（調質処理）が施された調質材を機械加工しており、製造コストが高いという問題がある。

一方、圧延後、焼入れ焼き戻し（調質処理）をすることなく、機械加工を行なった後、高周波焼入れ等の表面硬化処理を施してピニオンシャフトを得る試みがなされている（例えば特許文献１）。

【特許文献１】 特許第３０３６０６１号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

ピニオンアシストタイプの電動パワーステアリング装置では、自動車の左右方向に延在する転舵軸としてのラックバーとピニオンとの噛み合い部分に作用する応力や面圧が、油圧式パワーステアリング装置と比較して、大幅に（例えば６～１０倍に）高くなる。

一方で、部品を共通化して量産効果によるコストダウンを図るために、ピニオンアシストタイプの電動パワーステアリング装置においても、油圧式パワーステアリング装置で用いているピニオンシャフトと共通の仕様のピニオンシャフトが用いられる場合が多い。このため、高応力、高面圧が作用する中型車以上では、ピニオンシャフトの耐摩耗性、強度（静捩じり強度、捩じり疲労強度を含む）および靱性の点で不利となり、その結果、電動パワーステアリング装置の採用が小型車中心にとどまる傾向にあった。

【０００５】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、安価で且つ高応力、高面圧に耐え得るピニオンシャフトを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

上記目的を達成するため、本発明は、非調質の鋼を素材として形成されたピニオンシャフトにおいて、軸部と、この軸部に連なりピニオン歯および歯底部を含むピニオン歯形成部とを備え、ピニオン歯形成部および軸部に高周波焼入れおよび焼戻しが施された硬化層が設けられ、上記鋼がＣ：０．４５～０．５５質量％、Ｓｉ：０．１０～０．５０質量％、Ｍｎ：０．１５～０．２５質量％、Ｂ：０．０００５～０．００５質量％を含有し、ピニオン歯形成部および軸部の表面硬さがピッカース硬さで６５０～７６０ＨＶであることを特徴とするものである。

【０００７】

ピニオン歯形成部および軸部の表面硬さを６５０～７６０ＨＶに限定したのは下記の理由による。すなわち、６５０ＨＶ未満であると、ピニオン歯形成部の表面硬さが十分でなくなり、組み合わせて使用するラックに対する耐摩耗性が低くなる一方、７６０ＨＶを超えると、表層部の靱性が低下し、静的ねじり強度が不足するからである。そこで、ピニオン歯形成部および軸部の表面硬さを６５０～７６０ＨＶとすることで、ラックに対する耐

摩耗性を高くすると共に静的負荷に対する十分なねじり強度を確保するようにした。ピニオン歯形成部および軸部の表面硬さのより好ましい下限値は680HVであり、より好ましい上限値は730HVであり、さらに好ましい上限値は710HVである。

#### 【0008】

本発明において、上記鋼が、P：0.025質量%以下、S：0.025質量%以下、Ti：0.005～0.10質量%、N：0.015質量%以下をさらに含有し、かつ下記式1および式2を満たし、残部がFeおよび不可避不純物からなることが好ましい。

$$\text{式1} \cdots 0.80 \leq C_{eq} \leq 0.95$$

$$\text{ただし、} C_{eq} = C + 0.07 \times Si + 0.16 \times Mn + 0.20 \times Cr + 0.72 \times Mo$$

$$\text{式2} \cdots f \text{ 値} \leq 1.0$$

$$\text{ただし、} f \text{ 値} = 2.78 - 3.2 \times C + 0.05 \times Si - 0.60 \times Mn \\ - 0.55 \times Cu - 0.80 \times Ni - 0.75 \times Cr$$

ピニオンシャフトを機械加工するときの工具寿命およびピニオンシャフトの強度を確保するためには、ピニオンシャフトを形成するための熱間圧延後の製造用中間体としての鋼での硬さを、24～30HRCにするのが望ましい。24HRC未満であると、ピニオンシャフトに必要な強度が得られず、また30HRCを超えると工具寿命が低下してコストを増加し、加工に時間を必要とするようになるからである。

#### 【0009】

一方、ピニオンシャフト用の鋼の場合、その鋼材の寸法が20～30mmであり、熱間圧延条件が850℃以下の温度で減面率10%以上の圧下率であり、また冷却方法が比較的安価な衝風冷却、大気冷却またはピボット冷却であるので、その熱間圧延後の硬さは、ほとんど $C_{eq}$ の大小によって決まる。この硬さを上記の24～30HRCとするためには、 $C_{eq}$ を0.80～0.95にすることが必要である。すなわち、 $C_{eq}$ が0.80未満では熱間圧延後の硬さが24HRC以上にならないからであり、0.95よりも大きいと硬さが30HRCより高くなって硬くなり過ぎて被削性が低下し、歯形精度が悪くなるからである。

#### 【0010】

同様に、ピニオンシャフト用の鋼の場合、そのフェライト量は、ほとんどf値の大小によって決まるものである。フェライト量をピニオンシャフト用の鋼として必要なフェライト面積率40%以下にするには、f値を1.0以下にすることが必要である。これは以下の理由による。

すなわち、高周波焼入れ前の組織に多量のフェライトが存在すると、高周波焼入れのような短時間の加熱処理においては、フェライト中へのCの拡散が不十分となり、高周波焼入れ後の組織にフェライトが残留することになる。この残留フェライトは、曲げおよびねじり強度を低下する原因になる。また、均一な硬さが得られにくくなり、耐摩耗性も低下することになる。

#### 【0011】

残留フェライトを少なくするためには高周波焼入れにおいて、長時間加熱または高温加熱することが考えられるが、長時間加熱をした場合には硬化層深さが深くなり過ぎ、製造するピニオンシャフトの歪みが大きくなると共に、表面近傍の残留応力の低下により疲労強度が低下する原因となる。他方、高温加熱をした場合には高周波焼入れ層の結晶粒が粗大化して靱性の低下を招くことになる。したがって、高周波焼入れ前のフェライト量を40%以下にするのが望ましく、そのために、f値を1.0以下にすることが必要である。

#### 【0012】

また、本発明において、上記歯底部の有効硬化層深さD（表面から450HVである部位までの深さに相当）と歯底部の半径Rとの比D/Rが0.1～0.5であることが好ましい。すなわち、比D/Rが0.5を超える場合にはピニオン歯の歪みが大きくなる。一方、比D/Rが0.1未満では、ピニオン歯の静的据り強度や据り疲労強度が不足するおそれがある。そこで、比D/Rを0.1～0.5の範囲とすることで、ピニオン歯の

静的据じり強度や据じり疲労強度を確保しつつピニオン歯の歪みを防止するようにした。比 $D/R$ のより好ましい下限値は0.2であり、比 $D/R$ のより好ましい上限値は0.4である。

#### 【0013】

また、本発明において、上記軸部の有効硬化層深さ $d$ と軸部の半径 $r$ との比 $d/r$ が0.05~0.6であることが好ましい。比 $d/r$ が0.05未満では、軸部の静的据じり強度や据じり疲労強度が不足し、また内部起点の疲労破壊が生じるおそれがある。一方、比 $d/r$ が0.7を超える場合には靱性が低下するという欠点があり、また、製造コストが高くなり実用的でない。そこで、比 $d/r$ を0.05~0.6の範囲とすることで、軸部の静的据じり強度や据じり疲労強度を確保しつつ靱性も確保するようにした。比 $d/r$ のより好ましい下限値は0.35である。比 $d/r$ のより好ましい上限値は0.5である。

#### 【0014】

上記のピニオンシャフトであれば、安価な非調質鋼を用いて、高い耐摩耗性と、高い強度（静的強度、疲労強度、衝撃強度）を達成できるので、高応力、高面圧を受ける高出力のピニオンアシストタイプの電動パワーステアリング装置に好適に用いることができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0015】

本発明の好ましい態様を添付図面を参照しつつ説明する。

図1は本発明の一実施の形態のステアリングラックが用いられる電動パワーステアリング装置の概略構成を示す模式図である。図1を参照して、電動パワーステアリング装置（EPS：Electric Power Steering System）1は、ステアリングホイール等の操舵部材2に連結しているステアリングシャフト3と、ステアリングシャフト3に自在継手4を介して連結される中間軸5と、中間軸5に自在継手6を介して連結されるピニオンシャフト7と、ピニオンシャフト7の端部近傍に設けられたピニオン歯7aに噛み合うラック歯8aを有して自動車の左右方向に延びる転舵軸としてのラックバー8とを有している。

#### 【0016】

ラックバー8は車体に固定されるハウジング9内に図示しない複数の軸受を介して直線往復動自在に支持されている。ラックバー8の両端部はハウジング9の両側へ突出し、各端部にはそれぞれタイロッド10が結合されている。各タイロッド10は対応するナックルアーム（図示せず）を介して対応する操向輪11に連結されている。

操舵部材2が操作されてステアリングシャフト3が回転されると、この回転がピニオン歯7aおよびラック歯8aによって、自動車の左右方向に沿ってのラックバー8の直線運動に変換される。これにより、操向輪11の転舵が達成される。

#### 【0017】

ステアリングシャフト3は、操舵部材2に連なる入力軸3aと、ピニオンシャフト7に連なる出力軸3bとに分割されており、これら入、出力軸3a、3bはトーションバー12を介して同一の軸線上で相対回転可能に互いに連結されている。

トーションバー12を介する入、出力軸3a、3b間の相対回転変位量により操舵トルクを検出するトルクセンサ13が設けられており、このトルクセンサ13のトルク検出結果は、ECU（Electric Control Unit：電子制御ユニット）14に与えられる。ECU14では、トルク検出結果や図示しない車速センサから与えられる車速検出結果等に基づいて、駆動回路15を介して操舵補助用の電動モータ16への印加電圧を制御する。電動モータ16の出力回転が減速機構17を介して減速されてピニオンシャフト7に伝達され、ラックバー8の直線運動に変換されて、操舵が補助される。

#### 【0018】

減速機構17としては、電動モータ16の図示しない回転軸に一体回転可能に連結されるウォーム軸等の小歯車17aと、この小歯車17aに噛み合うと共にピニオンシャフト7に一体回転可能に連結されるウォームホイール等の大歯車17bとを備えるギヤ機構を

例示することができる。

図2はピニオンシャフトの断面図であり、図3は図2のIII-III線に沿う断面図であり、図4は図2のIV-IV線に沿う断面図である。図2を参照して、ピニオンシャフト7は、ピニオン歯形成部70と、このピニオン歯形成部70の両側に軸線90の同軸上に延設される一対の軸部71、72とを備える。軸部71は長軸からなり、中間軸5側に配置される。軸部72は短軸からなる。

#### 【0019】

図3を参照して、上記ピニオン歯形成部70は、複数が周方向の等間隔に形成される上記のピニオン歯7aと、隣接するピニオン歯7aに介在する歯底部7bとを含む。

ピニオンシャフト7は安価な非調質の鋼を素材として、機械加工が施されて形状が形成された後、高周波焼入れおよび焼戻しが施されてなる。これにより、図2、図3および図4に示すように、ピニオン歯形成部70および軸部71、72には表面硬化処理としての高周波焼入れおよび焼戻しが施された硬化層80が設けられ、硬化層80よりも内部であるシャフト内部81との間に硬度差が設けられている。

#### 【0020】

上記鋼はC：0.45～0.55質量%、Mo：0.15～0.25質量%、B：0.0005～0.005質量%を含有する。

0.45～0.55質量%のCを含有する非調質の鋼を高周波焼入れすることにより、ピニオンシャフトとして必要な耐摩耗性と靱性が付与される。すなわち、Cを0.45質量%以上とすることで、高周波焼入れによってピニオンシャフト7の耐摩耗性を高めることができる一方、Cが0.55質量%を超えると、耐衝撃性が低下し、また、高周波焼入れ時に焼割れを生じ易くなるので、Cを0.45～0.55質量%の範囲に設定した。

#### 【0021】

Moの添加により焼入れ性を高めるとともに、結晶粒界内を強化し、高周波焼入れによって得られる硬化層80の衝撃応力の作用に対する抵抗を向上させて衝撃による亀裂発生を抑制することができる。そのためには、0.15質量%以上含有させる必要があるが、多量に含有させると圧延状態でマルテンサイトが発生して硬くなり、被削性を低下させるので、上限を0.25質量%とする。特にBと複合添加することで、高周波焼入れによって得られる硬化層80の靱性改善硬化がさらに助長される。

#### 【0022】

そのBは不可避不純物であるPの粒界偏析を抑制して粒界を強化し、硬化層80の靱性を向上させることができる。そのためには、0.0005質量%以上含有させる必要があるが、多くなり過ぎると結晶粒を粗大化させて靱性を低下させるので、上限を0.005質量%とする。

鋼の他の成分としては、Si：0.10～0.50質量%、Mn：0.50～1.20質量%、P：0.025質量%以下、S：0.025質量%以下、Cu：0.50質量%以下、Ni：0.50質量%以下、Cr：0.50質量%以下、Ti：0.005～0.1質量%、N：0.015質量%以下を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物である。

#### 【0023】

Siは鋼溶製時において脱酸作用を有しているので、そのために含有させる元素である。その作用効果を得るためには0.10質量%以上含有させる必要があるが、多くなり過ぎると鋼の靱性が低下するので、上限を0.50質量%とする。

Mnは鋼溶製時において脱酸作用を有すると共に、鋼の焼入れ性を向上させるので、そのために含有させる元素である。それらの作用効果を得るためには0.50質量%以上含有させる必要があるが、多くなり過ぎると硬さが高くなり過ぎるので、上限を1.2質量%とする。

#### 【0024】

Pは不可避な不純物であり、粒界に偏析して靱性を低下させると共に、高周波焼入れ時の焼割れの発生を助長する元素でもあるので、低いほうが好ましいが、低くしても効果が



飽和し、またコストも高くなるので、上限を0.025質量%とする。

Sは不可避な不純物であり、硫化物系介在物を形成して疲労破壊の起点となるので、疲労強度を低下させる。また、焼割れの原因となる。したがって、Sは低いほうが好ましいが、著しく低くなると被削性を低下するので、上限を0.025質量%とする。

#### 【0025】

TiはTiNを形成して鋼中のNを固定し、BNの生成を妨げて有効なB量を多くするので、そのために含有させる元素である。Nを固定して上記Bの効果を発揮させるためには0.005質量%以上含有させる必要があるが、多くなり過ぎると靱性が低下するので、上限を0.10質量%とする。

Nは不可避な不純物であり、鋼中で窒化物系非金属を形成して疲労強度を低下させるので、上限を0.015質量%とする。

#### 【0026】

Cuはf値をコントロールするために含有させても良いが、多量に含有させると鋼の熱間加工性を低下するので、上限を0.50質量%とする。

Niはf値をコントロールするために含有させても良いが、多量に含有させると鋼の被削性を低下させるので、上下を0.50質量%とする。

Crはf値をコントロールするために含有させても良いが、多量に含有させると鋼の焼入れ性が增加して圧延状態でマルテンサイトが発生し、硬さが高くなり過ぎて被削性を低下させるので、上限を0.50質量%とする。

#### 【0027】

NbおよびTaは、高周波焼入れ層の組織を微細化して靱性を改善させるので、そのために含有させる元素であるが、多く含有すると効果が飽和するので、上限を0.20質量%とする。

Zrは、高周波焼入れ層の組織を微細化して靱性を改善させるとともに、酸化物を形成して硫化物の核となり、かつMnSの延伸性を改善して粒状硫化物となるため、ねじり疲労強度を向上させるので、そのらのために含有させる元素であるが、多く含有すると効果が飽和するので、上限を0.10質量%とする。

#### 【0028】

Alは、鋼溶製時において強い脱酸作用を有しているとともに、結晶粒を微細化して靱性を改善するので、それらのために含有させる元素であるが、多くなり過ぎるとAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系介在物が増加して疲労強度を低下させるので、上限を0.10質量%とする。

また、上記の鋼は下記式1および式2を満足することが好ましい。

$$\text{式1} \cdots 0.80 \leq C_{eq} \leq 0.95$$

$$\text{ただし、} C_{eq} = C + 0.07 \times Si + 0.16 \times Mn + 0.20 \times Cr + 0.72 \times Mo$$

$$\text{式2} \cdots f \text{ 値} \leq 1.0$$

$$\text{ただし、} f \text{ 値} = 2.78 - 3.2 \times C + 0.05 \times Si - 0.60 \times Mn \\ - 0.55 \times Cu - 0.80 \times Ni - 0.75 \times Cr$$

ピニオンシャフトの機械加工における工具寿命およびピニオンシャフトの強度を確保するためには、ピニオンシャフトを形成するための熱間圧延後の製造用中間体での硬さを、24～30HRCにするのが望ましい。24HRC未満であると、ピニオンシャフトに必要な強度が得られず、また30HRCを超えると工具寿命が低下してコストを増加し、加工に時間を必要とするようになるからである。

#### 【0029】

一方、ピニオンシャフト用の鋼の場合、その鋼材の寸法が20～30mmであり、熱間圧延条件が850℃以下の温度で減面率10%以上の圧下率であり、また冷却方法が比較的安価な衝風冷却、大気冷却またはピボット冷却であるので、その熱間圧延後の硬さは、ほとんどC<sub>eq</sub>の大小によって決まる。この硬さを上記の24～30HRCとするためには、C<sub>eq</sub>を0.80～0.95にすることが必要である。すなわち、C<sub>eq</sub>が0.80未満では熱間圧延後の硬さが24HRC以上にならないからであり、0.95よりも大きいと硬さが30HRCより高くなって硬くなり過ぎて被削性が低下し、歯形精度が悪くなるか

らである。

#### 【0030】

同様に、ピニオンシャフト用の鋼の場合、そのフェライト量は、ほとんど $f$ 値の大小によって決まるものである。フェライト量をピニオンシャフト用の鋼として必要なフェライト面積率40%以下にするには、 $f$ 値を1.0以下にすることが必要である。

高周波焼入れ前の組織に多量のフェライトが存在すると、高周波焼入れのような短時間の加熱処理においては、フェライト中へのCの拡散が不十分となり、高周波焼入れ後の組織にフェライトが残留することになる。この残留フェライトは、曲げおよびねじり強度を低下する原因になる。また、均一な硬さが得られにくくなり、耐摩耗性も低下することになる。

#### 【0031】

残留フェライトを少なくするためには高周波焼入れにおいて、長時間加熱または高温加熱することが考えられるが、長時間加熱をした場合には硬化層深さが深くなり過ぎ、製造するピニオンシャフトの歪みが大きくなると共に、表面近傍の残留応力の低下により疲労強度が低下する原因となる。他方、高温加熱をした場合には高周波焼入れ層の結晶粒が粗大化して靱性の低下を招くことになる。したがって、高周波焼入れ前のフェライト量を40%以下にするのが望ましく、そのために、 $f$ 値を1.0以下にする。

#### 【0032】

熱間圧延後の組織については、フェライト＋パーライト＋ベイナイトの3相組織であることが好ましい。というのは、マルテンサイトが存在すると熱間圧延後の硬さが著しく高くなると共に、衝撃値が低下するからである。

また、熱間圧延後の組織における最大パーライトブロックサイズは、以下の理由で、円相当径で100 $\mu$ m以下が好ましい。すなわち、ホブ加工時のむしろの発生を抑制するためには、組織の微細化を図るのが有効である。特に、パーライトブロックが粗大であると、ホブ加工時に剥離してむしろを発生するからである。実用のピニオンシャフトの表面仕上げ精度を考慮すると、パーライトブロックの円相当径を100 $\mu$ m以下にすることが好ましい。

#### 【0033】

ピニオン歯形成部70および軸部71、72の表面硬さは650～760HVに設定される。すなわち、650HV未満であると、ピニオン歯形成部70の表面硬さが十分でなくなり、組み合わせて使用するラックに対する耐摩耗性が低くなる一方、760HVを超えると、表層部の靱性が低下し、静的ねじり強度が不足するからである。そこで、ピニオン歯形成部70および軸部71、72の表面硬さを650～760HVとすることで、ラックに対する耐摩耗性を高くすると共に静的負荷に対する十分なねじり強度を確保するようにした。ピニオン歯形成部70および軸部71、72の表面硬さのより好ましい下限値は680HVであり、より好ましい上限値は710HVである。

#### 【0034】

また、図3を参照して、歯底部7bにおける硬化層80の有効深さ、すなわち歯底部7bの有効硬化層深さD（表面から450HVである部位までの深さに相当）と歯底部7bの半径Rとの比（硬化層比） $D/R$ が0.1～0.5の範囲に設定される。比 $D/R$ が0.5を超える場合にはピニオン歯の歪みが大きくなる。一方、比 $D/R$ が0.1未満では、ピニオン歯の静的据り強度や据り疲労強度が不足するおそれがある。そこで、比 $D/R$ を0.1～0.5の範囲とすることで、ピニオン歯7aの静的据り強度や据り疲労強度を確保しつつピニオン歯7aの歪みを防止するようにした。比 $D/R$ のより好ましい下限値は0.2であり、比 $D/R$ のより好ましい上限値は0.4である。

#### 【0035】

また、図4を参照して、軸部71、72での硬化層80の有効深さ、すなわち軸部71、72の有効硬化層深さdと軸部の半径rとの比（硬化層比） $d/r$ は0.05～0.6の範囲に設定される。比 $d/r$ が0.05未満では、軸部71、72の静的据り強度や据り疲労強度が不足し、また内部起点の疲労破壊が生じるおそれがある。一方、比 $d/r$

rが0.6を超える場合には靱性が低下し、また、製造コストが高くなり実用的でない。そこで、比 $d/r$ を0.05～0.6の範囲とすることで、軸部71, 72の静的据り強度や据り疲労強度を確保しつつ靱性とコスト的な実用性も確保するようにした。比 $d/r$ のより好ましい下限値は0.35である。比 $d/r$ のより好ましい上限値は0.5である。

#### 【0036】

また、好ましくは、ピニオン歯形成部70および軸部71, 72において、硬化層80よりも深部におけるピッカース硬さを260～300HVとすることが好ましい。シャフト内部81の硬さが260HV未満では、ピニオンシャフト7の強度が得られないという不具合があり、硬さが300HVを超えると、ピニオンシャフト7全体の靱性が低下したり、ホブ加工時の工具寿命が短くなったり、加工に長時間を要したりするという不具合がある。そこで、上記の範囲に設定することにより、強度を確保し且つ生産性を維持、向上させることが可能となる。シャフト内部81の硬さのより好ましい下限値は270HVであり、シャフト内部81の硬さのより好ましい上限値は290HVである。

#### 【0037】

上記のピニオンシャフト7であれば、安価な非調質鋼を用いて高い耐摩耗性および高い強度（静的強度、疲労強度、衝撃強度）を達成できるので、高応力、高面圧を受ける高出力のピニオンアシスト式の電動パワーステアリング装置に好適に用いることができる。

#### 【実施例】

#### 【0038】

以下、実施例を挙げて本発明をより具体的に説明する。

#### 実施例

下記表1に示す成分組成の本発明の実施例および比較例の鋼を各々溶製したのちビレットにし、800℃以下の温度で圧下率15%の熱間圧延してφ23mmの丸棒からなる素材を形成した。この素材である非調質の鋼を機械加工して、ピニオンシャフトの形状を形成した製造用中間体を作成し、次いで、製造用中間体を900～1000℃に高周波加熱し、水冷にて室温まで冷却して高周波焼入れ処理を施した。その後、雰囲気温度150℃、処理時間1時間で焼き戻し処理を施して、硬化層80を形成し、実施例および比較例のピニオンシャフトを製造した。ピニオンシャフトは、長さが130mmであり、軸部の平均径が15mmであり、歯部の外径が20mmであり、また、5条歯を持つようにした。

#### 【0039】

これら実施例および比較例を用いて正入力静的破壊試験、逆入力静的破壊試験、逆入力衝撃破壊試験、正入力耐久試験、逆入力耐久試験を実施した。また、ピニオン歯形成部および軸部の表面のピッカース硬さの測定、並びに、ピニオン歯の歯切り後の歯形精度の測定を実施した。その結果、下記の表2に示す結果を得た。以下、各試験について具体的に説明する。

#### 【0040】

各実施例および各比較例では、歯底部7bの有効硬化層深さDと歯底部7bの半径Rとの比 $D/R$ が0.3であり、軸部71, 72の有効硬化層深さdと軸部71, 72の半径rとの比 $d/r$ が0.3である。

#### 正入力静的破壊試験

図5に示すような試験装置を用いた。実施例のピニオンシャフト7ないし比較例のピニオンシャフトに噛み合うラックバー8を保持するハウジング9の両端をそれぞれ固定支柱31に固定した。中立位置にてラックバー8を固定し、ピニオンシャフト7に連結したロータリーアクチュエータ32からピニオンシャフト7に駆動トルクを与えた。駆動トルクを増大させていき、破壊に至らせ、破壊強度(N・m)を測定した。表2において、○、△、×の基準は下記である。

#### 【0041】

○：600N・m以上

△：400 N・m以上600 N・m未満

×：400 N・m未満

#### 逆入力静的破壊試験

図6に示すような試験装置を用いた。実施例のピニオンシャフト7ないし比較例のピニオンシャフトに噛み合うラックバー8を保持するハウジング9の両端をそれぞれ固定支柱31にマウントラバー33を介して固定した。ピニオンシャフト7をジョイント34を介して中立位置に固定し、ラックバー8の端部を負荷シリンダ35によりロードセル36を介して押し、破壊音（亀裂発生音）を確認するまで荷重を負荷した。ロードセル36に接続された動歪み計37の出力をレコーダ38に記録し、破壊荷重（kN）を測定した。表2において、○、△、×の基準は下記である。

##### 【0042】

○：80 kN以上

△：60 kN以上80 kN未満

×：60 kN未満

#### 逆入力衝撃破壊試験

図7に示すような試験装置を用いた。実施例のピニオンシャフト7ないし比較例のピニオンシャフトに噛み合うラックバー8を保持するハウジング9の両端を固定支柱39に固定された一対の固定アーム40に固定した。ハウジング9はピニオンシャフト7に近い側の端部が上になるように立てて配置する。ピニオンシャフト7は中立位置で固定支柱41に固定する。ピニオンシャフト7に近い側のラックバー8の端部に受け部材42を固定した。

##### 【0043】

受け部材42の上方には、ガイドバー43により上下動自在に支持された重錘44が設けられ、この重錘44の下部にはロードセル45が固定されている。ロードセル45を固定した重錘44の重さは0.98 kNであり、ロードセル45と受け部材42との距離を20 cmとして、重錘44およびロードセル45を落下させて受け部材42に衝突させ、破損に至るまでの落下回数を調べた。

##### 【0044】

ロードセル45に動歪み計46を接続し、動歪み計46の出力を電磁オシロスコープ47に記録し、逆入力衝撃強度（kN×回数）を測定した。表2において、○、△、×の基準は下記である。

○：500 kN×回数以上

△：200 kN×回数以上且つ500 kN×回数未満

×：200 kN×回数未満

#### 正入力耐久試験

図8に示すような試験装置を用いた。実施例のピニオンシャフト7ないし比較例のピニオンシャフトに噛み合うラックバー8を保持するハウジング9の両端をそれぞれ固定支柱54に固定した。ラックバー8の両端にそれぞれサーボアクチュエータ55を連結した。ピニオンシャフト7にジョイント56およびトルクメータ57を介してロータリーアクチュエータ58を接続し、該ロータリーアクチュエータ58によりピニオンシャフト7に駆動トルクを与える。駆動トルクは50 N・mとし、周波数0.15 Hzにて繰り返し回数を3万回とした。試験終了後、ラック歯への噛み合い部分の摩耗量を測定した。表2において、摩耗量の大、中、小の基準は、下記である。

##### 【0045】

摩耗量小：20 μm以下

摩耗量中：20 μmを超え且つ50 μm以下

摩耗量大：50 μmを超える

#### 逆入力耐久試験

図9に示すような試験装置を用いた。実施例のピニオンシャフト7ないし比較例のピニオンシャフトに噛み合うラックバー8を保持するハウジング9の両端をそれぞれ固定支柱

59に固定した。ピニオンシャフト7をジョイント60を介して中立位置に固定し、ピニオンシャフト7に近い側のラックバーの端部に連なるタイロッド10を介して、サーボアクチュエータ61からラックバーに軸力を負荷した。ラックバーに負荷される軸力を10kNとし、周波数5Hzにて繰り返し回数を70万回とした。試験終了後、ラック歯への噛み合い部分の摩耗量を測定した。表2において、摩耗量の大、中、小の基準は、下記である。

【0046】

摩耗量小：60  $\mu$ m以下

摩耗量中：60  $\mu$ mを超え且つ100  $\mu$ m以下

摩耗量大：100  $\mu$ mを超える

歯形精度測定試験

実施例および比較例のピニオンシャフトのピニオン歯の歯切り後の歯形誤差を求めた。具体的には、全ての歯の中で最大誤差（全歯Max.）のものを求めた。表2において、最大誤差の大小の基準は下記である。

【0047】

最大誤差小：10  $\mu$ m以下

最大誤差中：10  $\mu$ mを超え且つ30  $\mu$ m以下

最大誤差大：30  $\mu$ mを超える

【0048】

(質量%)

	No.	C	Si	Mn	P	S	Mo	B	Ti	N	その他	Ceq	f 値
実 施 例	1	0.50	0.21	0.78	0.016	0.017	0.17	0.0015	0.04	0.008	Cr:0.22	0.81	0.35
	2	0.54	0.26	0.74	0.016	0.015	0.17	0.0016	0.045	0.008		0.85	0.00
	3	0.52	0.45	1.10	0.015	0.015	0.20	0.0015	0.04	0.008	Cr:0.30	0.93	0.12
	4	0.45	0.25	1.00	0.015	0.015	0.23	0.0015	0.04	0.008		0.82	0.50
比 較 例	5	0.49	0.28	0.82	0.016	0.015	0.19	0.0013	0.04	0.009	Cu:0.30 Ni:0.25 Cr:0.18 Ta:0.06 Al:0.05	0.81	0.23
	1	0.45	0.25	0.70	0.015	0.015	0.23	0.0015	0.04	0.008		<u>0.78</u>	0.75
	2	<u>0.41</u>	<u>1.10</u>	0.55	0.015	0.015	0.26	0.0015	0.04	0.008		0.80	<u>1.02</u>
	3	0.55	<u>0.65</u>	1.10	0.015	0.015	0.20	0.0016	0.04	0.008		<u>0.98</u>	0.03
	4	<u>0.60</u>	0.24	0.85	0.016	0.015	0.20	0.0019	0.04	0.010		0.92	0.12
	5	0.51	0.25	0.83	0.015	0.015	<u>0.12</u>	0.0015	0.04	0.008		<u>0.78</u>	0.42
	6	0.49	0.30	0.60	0.015	0.015	<u>0.30</u>	0.0015	0.04	0.008		0.82	0.86
	7	0.51	<u>0.65</u>	0.75	0.017	0.018	0.21	<u>0.0002</u>	0.035	0.010		0.86	0.44
	8	0.53	0.08	0.82	0.014	0.017	0.16	0.0078	<u>0.11</u>	<u>0.018</u>		0.81	0.31

【表 2】

	静的破壊試験		逆入力 衝撃 破壊	耐久試験		歯形 誤差	Hv
	正入力	逆入力		正入力	逆入力		
実1	○	○	○	小	小	小	715
実2	○	○	○	小	小	小	718
実3	○	○	○	小	小	小	760
実4	○	○	○	小	小	小	650
実5	○	○	○	小	小	小	709
比1	△	△	△	中	中	中	620
比2	△	△	×	大	大	中	570
比3	△	△	×	小	小	中	730
比4	○	○	×	小	小	中	770
比5	△	△	×	中	中	大	720
比6	○	○	○	中	中	大	705
比7	△	△	×	小	小	小	718
比8	△	△	△	小	小	小	734

## 【0050】

表2の結果によると、本発明の実施例1～5は、何れも、正入力静的破壊強度が600 N・m以上であり、逆入力静的破壊強度が80 kN以上であり、正入力耐久試験における摩耗量が20  $\mu$ m以下であり、逆入力耐久試験における摩耗量が60  $\mu$ m以下であり、表面硬さが650～760 HVであり、また、歯形誤差が10  $\mu$ m以下と小さかった。

これに対して、C<sub>eq</sub>が0.78と本発明の実施例1～5よりもやや低い比較例1は、本発明の実施例1～5と比較して、表面硬さが620 HVとやや低く、静的破壊強度および逆入力衝撃破壊強度がより低く、耐久試験による摩耗量がより多く、また、歯形誤差がより大きかった。

## 【0051】

また、本発明の実施例1～5と比較して、C含有量が0.41質量%とやや少なく、Si含有量が1.10質量%とかなり多く、f値が1.02とより高い比較例2は、本発明の実施例1～5と比較して、表面硬さが570 HVとかなり低く、静的破壊強度がより低く、逆入力衝撃破壊強度がかなり低く、耐久試験による摩耗量がより多く、また、歯形誤差がより大きかった。

## 【0052】

また、C<sub>eq</sub>が0.98と本発明の実施例1～5よりも高い比較例3は、本発明の実施例1～5と比較して、静的破壊強度がより低く、逆入力衝撃破壊強度がかなり低く、耐久試験による摩耗量がより多く、歯形誤差がより大きい。

また、C含有量が本発明の実施例1～5よりも多い比較例4は、本発明の実施例1～5と比較して、逆入力衝撃破壊強度がかなり低く、また、歯形誤差がより大きかった。

## 【0053】

また、Mo含有量が本発明の実施例1～5よりもやや少なく、C<sub>eq</sub>が本発明の実施例1～5よりもやや低い比較例5は、本発明の実施例と比較して、静的破壊強度がやや低く、逆入力衝撃破壊強度がかなり低く、耐久試験による摩耗量がより多く、また、歯形誤差がより大きかった。

また、Mo含有量が本発明の実施例1～5よりも多い比較例6は、本発明の実施例1～5と比較して、耐久試験による摩耗量がより多く、歯形誤差がかなり大きかった。

# 【0054】

また、S i 含有量が本発明の実施例 1～5 よりも多く、B 含有量が本発明の実施例 1～5 よりも少ない比較例 7 は、本発明の実施例 1～5 と比較して、静的破壊強度（ねじり強度に相当）がより低く、逆入力衝撃破壊強度がかなり低かった。

また、T i 含有量および N 含有量が本発明の実施例 1～5 よりも多い比較例 8 は、本発明の実施例 1～5 と比較して、静的破壊強度（ねじり強度に相当）および逆入力破壊強度がより低かった。

## 硬化層比試験 1

上記の実施例 1 に対して高周波焼入れの条件のみを種々変更して、歯底部 7 b の有効硬化層深さ D を異ならせることで、歯底部 7 b の有効硬化層深さ D と歯底部 7 b の半径 R との比（硬化層比） $D/R$  のみを下記の表 3 のように異ならせた実施例 6～11 を作成し、上記と同様の正入力静的破壊試験および歯形精度測定試験を実施したところ、表 3 に示す結果を得た。

# 【0055】

【表 3】

	硬化層比 $D/R$	正入力静的破壊試験	歯形誤差
比 9	0.05	×	小
実 6	0.1	△	小
実 7	0.2	○	小
実 1	0.3	○	小
実 8	0.4	○	小
実 9	0.5	○	中
実 10	0.6	○	大

# 【0056】

表 3 の結果によると、比  $D/R$  が 0.1 以上（実施例 1，実施例 6～10）であれば十分なねじり強度が得られ、0.2 以上（実施例 1，実施例 7～10）であれば、より高いねじり強度（静的破壊強度）が得られることが判明した。また、比  $D/R$  が 0.5 以下（実施例 1，実施例 6～9）であれば、歯形誤差が許容レベルに収まり、比  $D/R$  が 0.4 以下（実施例 1，実施例 6～8）であれば、歯形誤差をより小さくできることが判明した。

# 【0057】

その結果、比  $D/R$  が 0.1～0.5 の範囲にあれば、ねじり強度および歯形誤差（最大誤差）の双方において好ましい結果が得られることが判明した。また、比  $D/R$  が 0.2～0.4 の範囲にあれば、ねじり強度および歯形誤差（最大誤差）の双方においてより好ましい結果が得られることが判明した。

## 硬化層比試験 2

上記の実施例 1 に対して高周波焼入れの条件のみを種々変更して、軸部 7 1，7 2 の有効硬化層深さ d と軸部の半径 r との比（硬化層比） $d/r$  のみを下記の表 4 に示すように異ならせた実施例 11～15 を作成し、上記の同様の正入力静的破壊試験、下記に示すねじり疲労試験を実施したところ、表 4 に示す結果を得た。

# 【0058】

ねじり疲労試験：ねじり疲労試験用試験片（平行部の直径 12 mm で長さ 100 mm の平滑試験片）を供試品とするねじり疲労試験を実施し、 $10^5$  サイクルの時間強度で評価した。

○：650 MPa 以上



△：500MPa以上650MPa未満

×：500MPa未満

【0059】

【表4】

	硬化層比 d／r	正入力静的破壊試験	振り疲労試験
比10	0.03	△	×
実11	0.05	△	△
実1	0.3	○	△
実12	0.35	○	○
実13	0.5	○	○
実14	0.6	○	△
実15	0.7	○	×

【0060】

表4の結果によると、比d／rが0.05～0.6（実施例1，実施例11～14）であれば許容レベル以上の静的ねじり強度（静的破壊強度）およびねじり疲労強度が得られることが判明した。すなわち、比d／rが0.6を超えた場合（実施例15）、静的ねじり強度やねじり疲労強度に対する効果が飽和する一方、靱性が低下する。また、比d／rが0.6である場合は、比d／rが0.5である場合と比較して靱性が低下する傾向が見受けられる。したがって、比d／rの上限としては0.5がより好ましい。また、比d／rが0.35～0.5（実施例12，13）の範囲にあれば、高い静的ねじり強度、高いねじり疲労強度が得られることが判明した。

【図面の簡単な説明】

【0061】

【図1】本発明の一実施の形態のピニオンシャフトが適用されたピニオンアシスト式の電動パワーステアリング装置の模式図である。

【図2】ピニオンシャフトの断面図である。

【図3】図2のIII－III線に沿う断面図である

【図4】図2のIV－IV線に沿う断面図である

【図5】正入力静的破壊試験の試験装置の概略図である。

【図6】逆入力静的破壊試験の試験装置の概略図である。

【図7】逆入力衝撃試験の試験装置の概略図である。

【図8】正入力耐久試験の試験装置の概略図である。

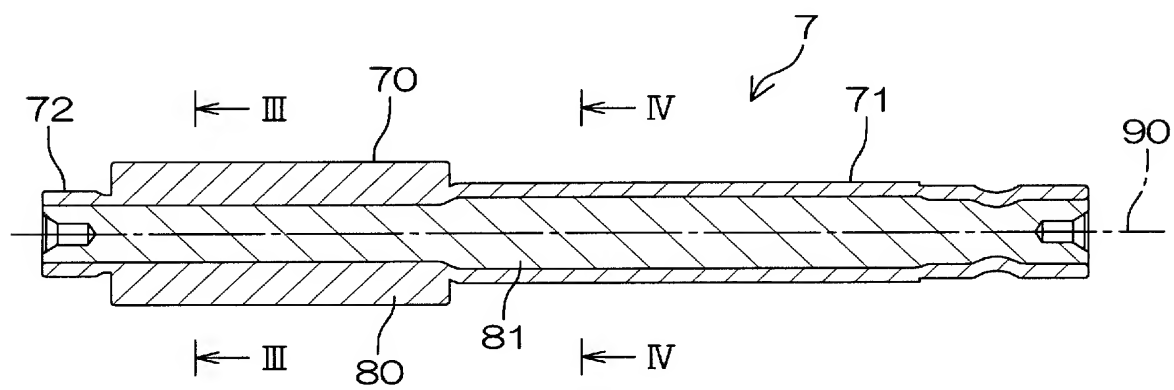
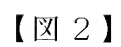
【図9】逆入力耐久試験の試験装置の概略図である。

【符号の説明】

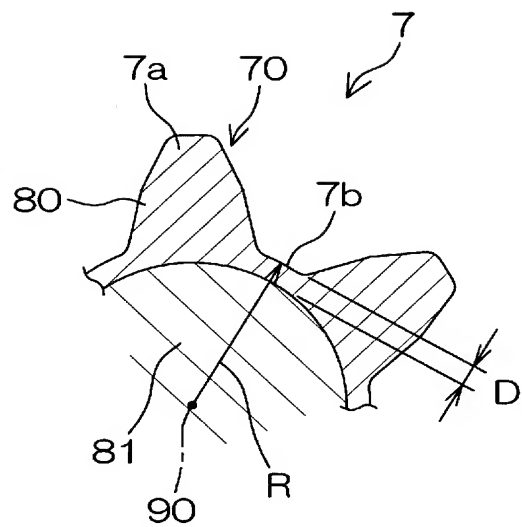
【0062】

- 1 電動パワーステアリング装置（EPS）
- 2 操舵部材
- 3 ステアリングシャフト
- 3a 入力軸
- 3b 出力軸
- 5 中間軸
- 7 ピニオン軸
- 7a ピニオン歯
- 7b 歯底部
- 8 ラックバー

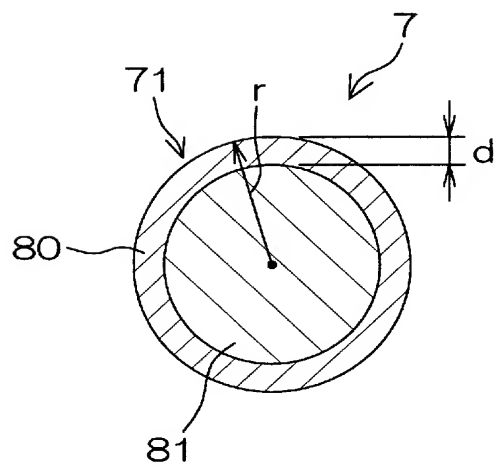
8 a ラック歯  
1 1 操向輪  
1 2 トーションバー  
1 3 トルクセンサ  
1 4 E C U  
1 6 電動モータ  
1 7 減速機構  
1 7 a 小歯車  
1 7 b 大歯車  
7 0 ピニオン歯形成部  
7 1 , 7 2 軸部  
8 0 硬化層  
8 1 シャフト内部  
D 歯底部の有効硬化層深さ  
R 歯底部の半径  
d 軸部の有効硬化層深さ  
r 軸部の半径



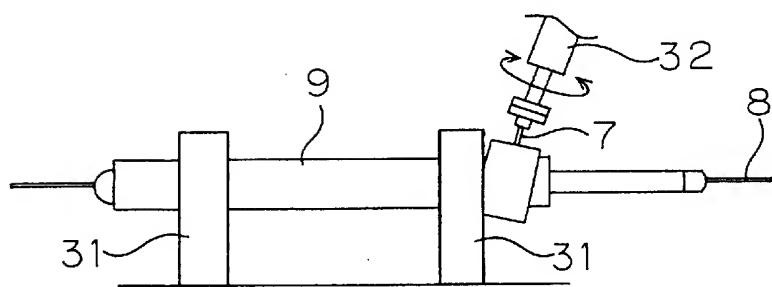
【図 3】



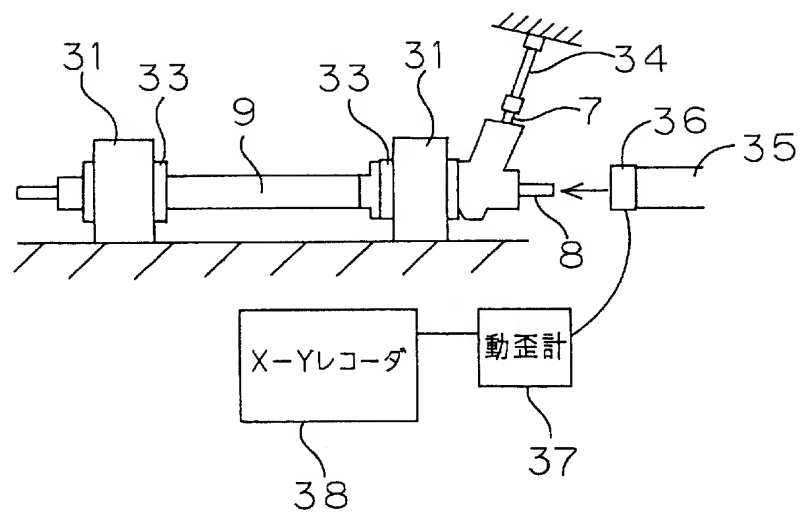
【図 4】



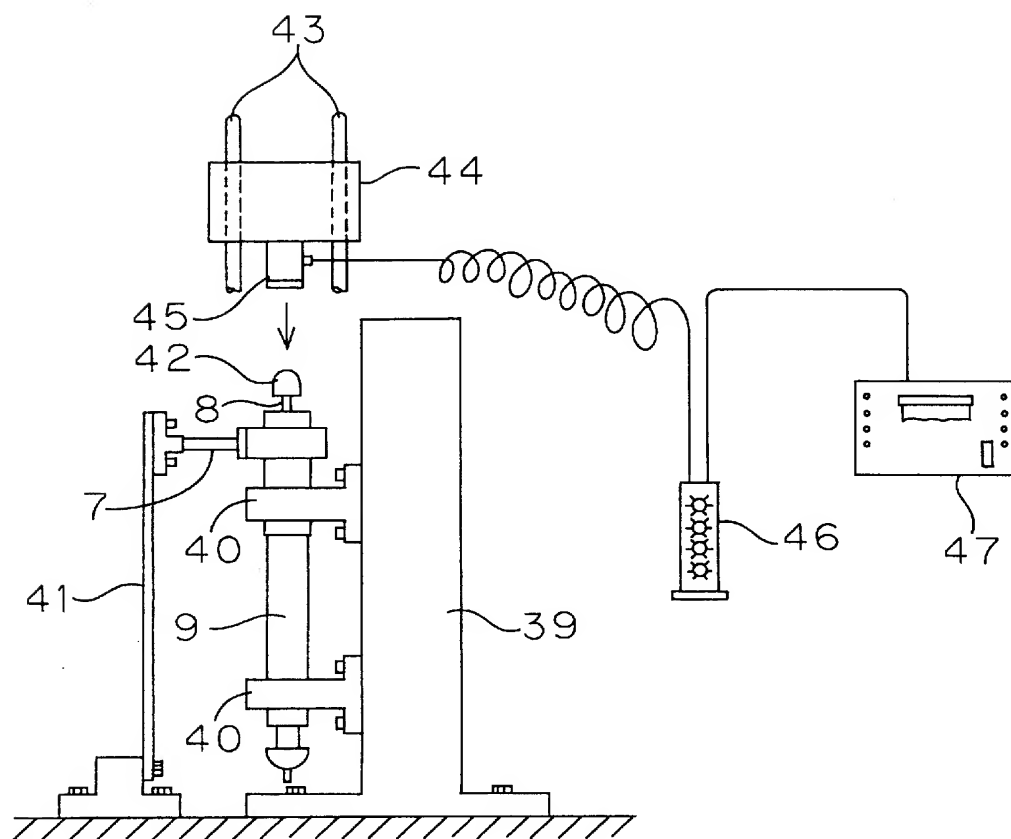
【図 5】



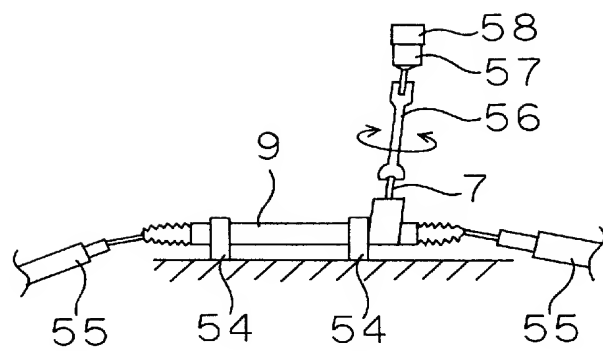
【図 6】



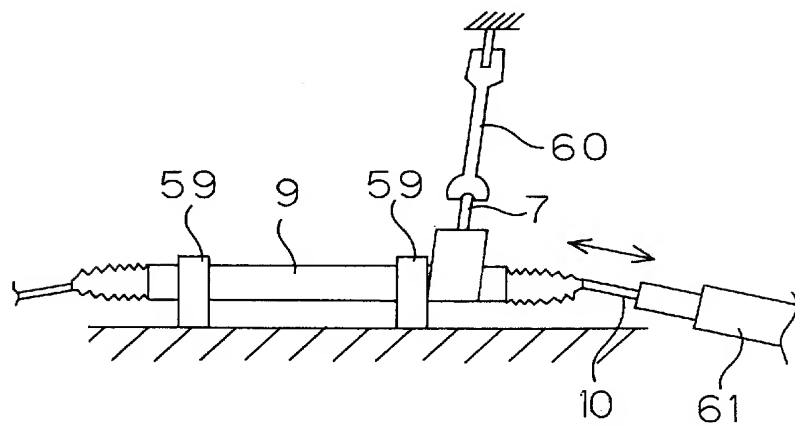
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ピニオンアシストタイプのEPSの中型車への適用が困難である。ピニオンシャフトに高応力、高面圧が作用するため、ピニオンシャフトの耐摩耗性、捩じり強度、衝撃強度等が不足するからである。調質鋼を用いる場合、製造コストが高い。

【解決手段】 非調質の鋼を素材として機械加工を施した後、高周波焼入れ及び焼戻し処理を施してピニオンシャフト7を形成する。鋼がC：0.45～0.55質量%、Si：0.10～0.50質量%、Mo：0.15～0.25質量%、B：0.0005～0.005質量%を含有する。ピニオン歯7a及び歯底部7bを含むピニオン歯形成部70、並びにこれに連なる軸部に高周波焼入れ及び焼戻しが施された硬化層80を設ける。ピニオン歯形成部70及び軸部の表面硬さがビッカース硬さで650～760HVである。歯底部7bの有効硬化層深さDと歯底部の半径Rとの比D/Rとして0.1～0.5の範囲が好ましい。

【選択図】 図3

## 出願人履歴

0 0 0 0 0 1 2 4 7

19900824

新規登録

大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号  
光洋精工株式会社